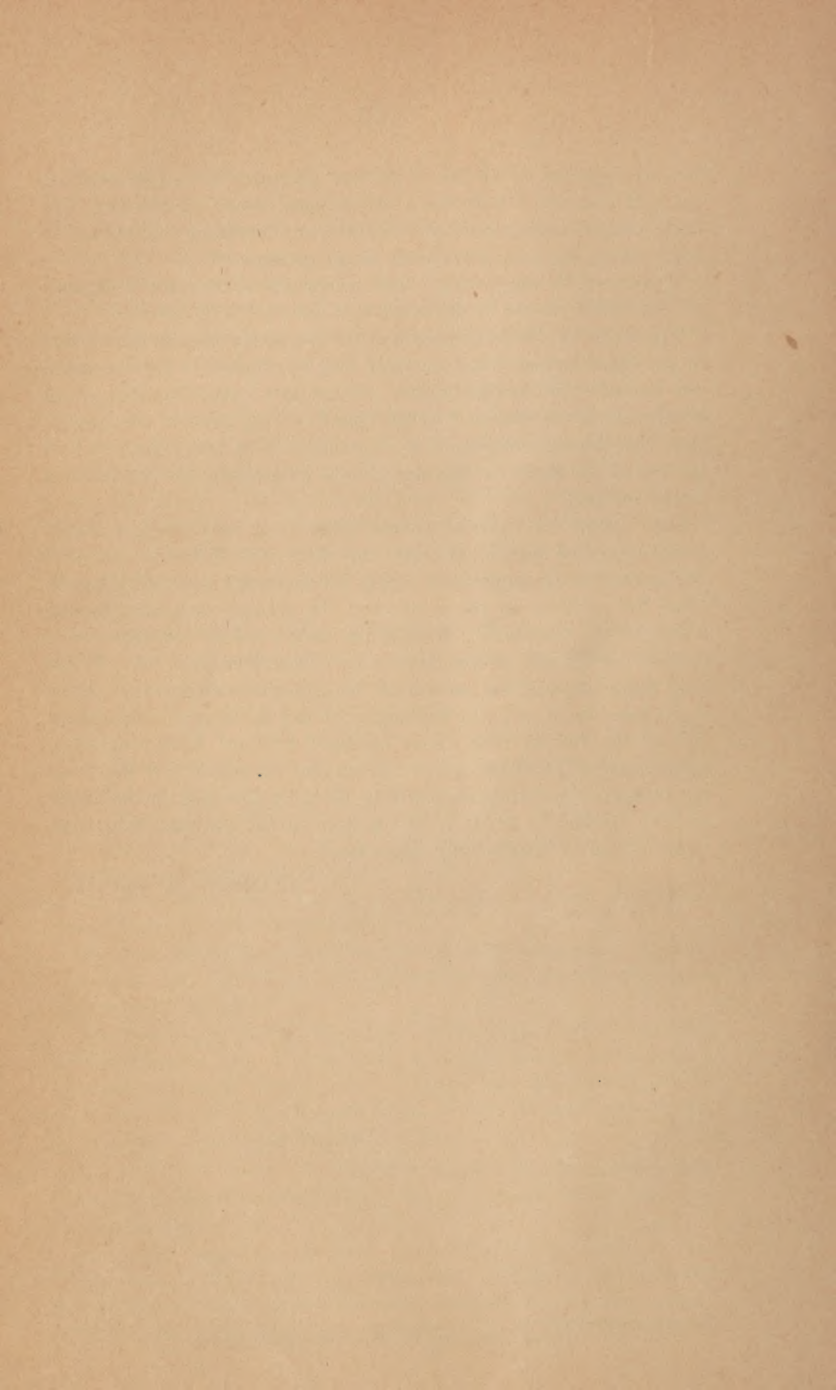
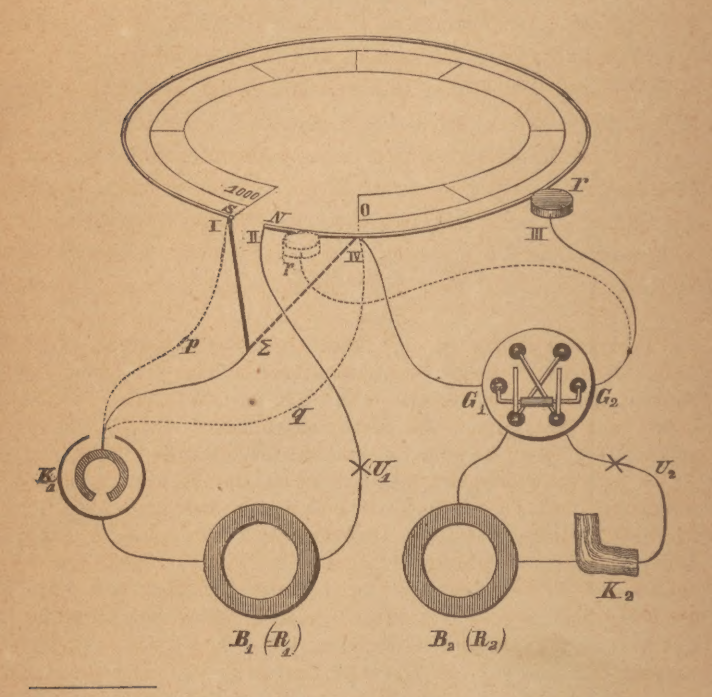




Anleitung zum Gebrauch des runden Compensators.

Von

E. du Bois-Reymond.[1]



1) Vergl. E. du Bois-Reymond, Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektrophysiologischen Zwecken. Aus den Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1862. Berlin 1863. 4. S. 107—119; — Derselbe, Ueber das Gesetz

Obige Figur zeigt schematisch den Compensator, und die Art ihn zu gebrauchen. K_1 ist die Maasskette (ein Grove oder Daniell) mit der elektromotorischen Kraft E, B_1 eine Bussole, NS der Platindraht des Compensators (Nebenschliessdraht), r das Platinröllchen des Instrumentes, G_1 G_2 ein Stromwender, etwa ein Pohl'scher Gyrotrop, B_2 eine zweite Bussole, endlich K_2 ein wirksam aufliegender Muskel, an dessen Stelle man auch eine beliebige zweite, beständige oder unbeständige Kette sich denken kann, deren elektromotorische Kraft y gemessen, d. h. als Bruchtheil der Kraft E der Maasskette bestimmt werden soll. U_1, U_2 sind Unterbrechungsstellen der Kreise, wo Schlüssel sich befinden.

Die Strecke $0 N U_1 B_1 K_1$ (p oder Σ) S heisst der Maasskettenkreis, ihr Widerstand W; die Strecke $0 G_1 B_2 K_2 U_2 G_2 r$ der Messkreis, ihr Widerstand M; Die Strecke $0r$ die Nebenleitung, ihr Widerstand λ; endlich der Widerstand des Nebenschliessdrahtes von 0 bis S gemessen heisst L.

Der Stromwender ertheilt dem Maasskettenstromzweig im Messkreise die entgegengesetzte Richtung vom Strome der Kette K_2. Indem man durch Verschieben des Röllchens r am Nebenschliessdraht in der Richtung von 0 nach S die Nebenleitung verlängert, verstärkt man den Maasskettenstromzweig im Mess-

---

des Muskelstromes u. s. w. In diesem Archiv u. s. w. 1863. S. 27. Anm.; — Derselbe, Ueber die elektromotorische Kraft der Nerven und Muskeln. Ebenda. 1867. S 419—429. — S. auch Wiedemann, Die Lehre vom Galvanismus und Elektromagnetismus. Bd. II. Braunschweig 1863. S. 1068—1069; — 2. Aufl. 1862. Bd. I. §. 240. 240b. — Ich bin schriftlich und mündlich so oft ersucht worden, nähere Aufklärung über Theorie und Gebrauch des in Rede stehenden, für thierisch-elektrische Versuche unentbehrlichen Instrumentes zu geben, dass ich es für gerechtfertigt halte, wenn ich an dieser Stelle ein für allemal und öffentlich diesem Wunsch entspreche, obschon in der Natur der Sache liegt, dass einiges früher in diesem Archiv Gesagte wiederholt wird. Das Instrument in der Form, wie es hier gedacht ist, wird von den HH. Krüger und Hirschmann in Berlin, Simeonstr. 20., gegenwärtig für 40 Thlr. geliefert, und unterscheidet sich von dem früher beschriebenen dadurch, dass der Stöpselumschalter aus dem Maasskettenkreis entfernt, und eine Vorkehrung getroffen ist, welche unmittelbare Bestimmung der Graduationsconstanten gestattet.

kreise. Man kann ihm so jede Stärke zwischen Null und der Stärke geben, die er vermöge der sonstigen Beschaffenheit der Vorrichtung erreicht, wenn r bei S steht. Wenn diese Grenzstärke die Stärke des Stromes von K_2 im Messkreis übertrifft, kann man also durch Verschieben des Röllchens eine Stellung finden, bei der beide Stärken gleich sind, und Bussole B_2 die Stromstärke Null angiebt.

Nach dem Bosscha'schen Satze[1]) ist ein Zweig einer Leitung, in welchem kein Strom kreist, mit den etwa darin wirksamen elektromotorischen Kräften, als nicht vorhanden anzusehen. Im Falle des Gleichgewichtes ist also der Strom $I_{\prime}$ in der Nebenleitung der nämliche, als wäre der Messkreis nicht vorhanden:

$$I_{\prime} = \frac{E}{W + L}.$$

Nach dem die geschlossenen Figuren betreffenden Kirchhoff-schen Satze[2]) hat man

$$\text{Null} \times M + I_{\prime} \cdot \lambda = y,$$

$$\text{also } y = I_{\prime} \cdot \lambda = \frac{E}{W + L} \cdot \lambda.$$

Im Falle des Gleichgewichtes ist also die elektromotorische Kraft der Kette K_2 der Länge $0r$ proportional, so dass diese unmittelbar ein Maass für jene giebt.

Den Grund davon sieht man leicht ein. Da es im Falle des Gleichgewichtes gleichgültig ist, ob der Messkreis mit der Kraft y vorhanden ist oder nicht, so ist dem Nebenschliessdraht entlang das Gefälle des Elektricitäts-Potentials dasselbe, wie ohne den angehängten Messkreis, gleichviel wo r sich befinde. r wird aber, damit Gleichgewicht herrsche, um so weiter von 0 entfernt sein müssen, je grösser y, d. h. je grösser der Unterschied der constanten Elektricitäts-Potentiale auf den Strecken des Messkreises beiderseits vom Sitze der Kraft y ist.

In dieser den Elektrikern bisher entgangenen Eigenschaft unserer Anordnung liegt deren Ueberlegenheit über die ursprüng-

---

1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1858. Bd. CIV. S. 460.

2) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1845. Bd. LXIV. S. 513; — 1847. Bd. LXXII. S. 497.

liche Poggendorff'sche [1]), welche auch zum Messen elektromotorischer Kräfte durch Compensiren dient. Bei der Poggendorff'schen Anordnung wird die Leitung nicht auf Kosten des Maasskettenkreises verlängert, sondern durch Einschaltung neuer Drahtstrecken. In Folge davon hängt y von λ in verwickelterer Art ab, als in unserem Fall, und während unsere Methode die elektromotorische Kraft wie das Zeug an der Elle misst, findet die Poggendorff'sche Methode sie immer erst durch Rechnung.

Da y linear mit λ sich verändert, leidet die Bequemlichkeit der Messung kaum darunter, dass im Messkreise ausser y vielleicht noch andere elektromotorische Kräfte, z. B. Ungleichartigkeiten einer stromzuführenden Vorrichtung, sich befinden. Sei die Summe dieser Kräfte $= \pm \delta$, und es werde für sie das Gleichgewicht bei $\lambda_{,}$, dagegen für $y \pm \delta$ bei λ erreicht. Man hat $\delta = I_{,} \cdot \lambda_{,}$, $y \pm \delta = I_{,} \cdot \lambda$, folglich $y = I_{,} (\lambda \mp \lambda_{,})$. Um aber der Constanz von δ ohne Umsetzen des Maasskettenstromzweiges im Messkreise sich versichern zu können, empfiehlt es sich, das obere Zeichen zu wählen.

Schreibt man den Ausdruck für die zu messende Kraft

$$y = \frac{\lambda}{W + L} \cdot E,$$

so sieht man, dass es nur der Kenntniss des Verhältnisses $\lambda : W + L$ bedarf, um y als Bruchtheil von E zu bestimmen.

Ist der Nebenschliessdraht von 0 bis S in N Theile getheilt, und wurde das Gleichgewicht im Messkreise beim $n$ten Theilstrich erreicht, so hat man

$$\lambda = \frac{n}{N} \cdot L,$$

und folglich

$$y = \frac{n}{N\left(1 + \frac{W}{L}\right)} \cdot E.$$

Um den Werth des constanten Nenners der rechten Seite zu kennen, handelt es sich also nur darum, $W : L$ zu bestimmen. Dazu beobachtet man an der Bussole B_1 1., indem man die

1) Poggendorff's Annalen u. s. w. 1841. Bd. LIV. S. 161.

Verbindung $0 N U_1 B_1 K q 0$ herstellt, die Stromstärke

$$I = \frac{E}{W};$$

2., bei offenem Messkreise, die Stromstärke

$$I_, = \frac{E}{W + L}$$

im Kreise $0 N U_1 B_1 K_1 p S r 0$. Kann man an der Bussole die Ablenkungen J, $J_,$ unmittelbar den Stromstärken I, $I_,$ proportional setzen:

$$a J = I,\ a J_, = I_,,$$

so hat man das Verhältniss m dieser Ablenkungen, welches stets ein unächter Bruch ist,

$$\frac{J}{J_,} = \frac{I}{I_,} = \frac{W + L}{W},$$

$$\text{folglich } \frac{W}{L} = \frac{1}{m - 1}, \text{ und}$$

$$y = n. \frac{m - 1}{m N} . E.$$

Der ächte Bruch $\frac{m - 1}{m N}$ behält denselben Werth, so lange W und L beständig bleiben, und braucht daher für jede Vorrichtung nur einmal bestimmt zu werden, wofern stets die Maasskette von gleicher Beschaffenheit ist und ihr Strom dem Nebenschliessdraht in gleicher Art zugeführt wird.

Hat man bei Anwendung eines Daniells, dessen elektromotorische Kraft D heisse, z. B. gefunden

$$J = 275 \cdot 2,$$

$$J_, = 247 \cdot 9 \text{ Scalentheile,}$$

und ist $N = 1000$, so hat man

$$\frac{m - 1}{m N} = \text{num} \left\{ \begin{array}{l} \text{Log} \left[\text{num} \left(\text{Log} 275 \cdot 2 - \text{Log} 247 \cdot 9 \right) - 1 \right] \\ \quad - \left(3 + \text{Log} 275 \cdot 2 - \text{Log} 247 \cdot 9 \right) \end{array} \right\} = 0{,}0000991$$

$$\text{oder} = \frac{1}{10091}$$

Einem jeden Theilstriche des Nebenschliessdrahtes entspricht also unter diesen Umständen ein Unterschied von $\frac{1}{10091}$, und seiner ganzen Länge von 0 bis S ein solcher von $\frac{1000}{10091} D$.

Der Bruch $\frac{D}{10091}$ heisst nunmehr die Graduationsconstante der Vorrichtung.

Bei Aenderung von m ändert sich die Graduationsconstante, und, insofern die Länge des Nebenschliessdrahtes gegeben ist, der durch den Bruch

$$N. \frac{m-1}{m N} = \frac{m-1}{m}$$

bestimmte Umfang der Theilung. Man kann aber m leicht jeden gewünschten Werth > 1 dadurch ertheilen, dass man W passend verändert, d. h. die Zuleitungsdrähte der Kette nach Bedürfniss verlängert oder verkürzt. Hiervon macht man doppelten Gebrauch. Erstens nämlich ist vortheilhaft, dass die Graduationsconstante, mit der man fortwährend zu rechnen hat, einen möglichst bequemen Werth habe. Z. B. damit sie im obigen Falle statt $\frac{D}{10091}$ genau 0,0001 D werde, ist nur nöthig, dass m, statt $= \frac{275 \cdot 2}{247 \cdot 9}$ etwas $< \frac{10}{9}$, genau $= \frac{10}{9}$ sei. Dies bewirkt man, indem man W zu $\alpha\, W$ verkleinert, wo der Correctionsfactor $\alpha < 1$ aus

$$\frac{\alpha\, W + L}{\alpha\, W} \quad \frac{10}{9} = m_\alpha$$

zu berechnen ist. Man findet

$$\alpha = \frac{m \;\; - 1}{m_\alpha - 1},$$

und erkennt den Schluss der Operation daran, dass das neue $J = J_\alpha$

$$\frac{J}{\alpha}$$

ward. In obigem Falle wäre für die Graduationsconstante $0 \cdot 0001$ der Correctionsfactor $\alpha = 0 \cdot 9911$; J_α müsste $= 278 \cdot 1$ sein, woraus $J_{1\,\alpha} = 250 \cdot 2$ folgt.

Natürlich kann man auch von vornherein sich vorsetzen, der Graduationsconstanten einen gewissen Werth, also z. B. $0 \cdot 0001$ Daniell zu ertheilen, und dazu wäre nur nöthig, $W = 9\,L$ zu machen. Bei der Schwierigkeit Widerstände abzumessen, wird aber in der Praxis der angegebene Weg der kürzeste sein,

die Messung am Apparate selber vorzunehmen, wo die Widerstände gebraucht werden sollen. Ja es empfiehlt sich, nicht erst um den Correctionsfactor α sich zu bemühen, sondern ohne Weiteres W tastend zu verändern, bis $\frac{J}{J_{,}} = m$ den gewünschten Werth zeigt.

Zweitens ist für gewisse Zwecke vortheilhaft, eine kleinere Graduationsconstante bei kleinerem Umfang der Theilung zu haben, für andere Zwecke, bei grösserer Constanten über grösseren Umfang zu gebieten. Auch dies bewirkt man einfach, indem man in den Maasskettenkreis Drahtlängen einschaltet, beziehlich sie daraus entfernt. Am besten hat man kleine Rollen vorräthig, deren Einschaltung bei sonst unveränderter Anordnung der Graduationsconstante bestimmte Werthe ertheilt, die in einem einfachen Verhältniss zu einander stehen.

Bei dieser Abhängigkeit der Graduationsconstanten von W ist natürlich umgekehrt die grösste Sorgfalt darauf zu verwenden, dass im Laufe der nämlichen Versuchsreihe W constant sei. Die Veränderung von W durch Veränderung des inneren Widerstandes der Kette, wie auch durch Erwärmung der Drähte (welche letztere auch auf L sich erstreckt), ist nicht zu vermeiden und, fällt bei jedem Verfahren zur Bestimmung der Constanten voltaischer Kreise ebenso in's Gewicht.[1])

Dagegen ergiebt sich hier die Vorschrift, den Stromwender, dessen man bedarf, um dem Maasskettenstromzweig im Messkreise geeignete Richtung zu geben, in den Messkreis selber zu verlegen. Des letzteren Widerstand M fällt nämlich aus dem Ausdruck für y heraus, weil im Falle des Gleichgewichtes kein Strom im Messkreise fliesst. Daher auch die Widerstandsschwankungen an der veränderlichen Berührungsstelle r unschädlich sind. Bei keinem Stromwender aber ist auf ganz gleichen Widerstand in beiden Stellungen zu rechnen, ja der Bau des Pohl'schen Gyrotropes bedingt sogar einen Unterschied des Widerstandes in beiden Lagen der Wippe.

1) Vergl. über die Art, die Erwärmung so unschädlich wie möglich zu machen, die letzte der drei oben S. 607. Anm. 1 angeführten Stellen, S. 427.

Aus derselben Rücksicht muss Schliessen und Oeffnen des Maasskettenkreises bei U_1 mittels eines dicken, wohl verquickten Kupferdrahtes in Quecksilber (eines Quecksilberschlüssels) geschehen, nicht mittels des gewöhnlichen Schlüssels, dessen Widerstand nicht beständig genug ist.[1])

Als Bussole empfiehlt sich beim Arbeiten mit dem Compensator ganz besonders die Wiedemann'sche Spiegelbussole wegen der Möglichkeit, nach Belieben verschiedene Rollen aus passenden Entfernungen auf den Spiegel wirken zu lassen. An Stelle von B_1 und B_2 in unserer Figur treten dann zwei Rollen R_1 und R_2, welche man abwechselnd in Gebrauch zieht. R_1 dient zur Messung von J und $J_{,}$, R_2 zur Beobachtung des Stromgleichgewichtes im Messkreise. Wird R_1 gebraucht, so steht der Messkreis bei U_2 offen; ist R_2 an der Reihe, so wird R_1 von der Bussole soweit entfernt, dass R_1 nicht mehr merklich auf den Spiegel wirkt. Das Erkennen des Stromgleichgewichtes im Messkreise wird sehr erleichtert durch Anwendung eines Spiegels, der schwingungslos oder dessen Bewegung aperiodisch gemacht ist[2]), und einer horizontal in ihrer eigenen Ebene verschiebbaren, auf jeder Seite von Null aus getheilten Scale.[3])

Rolle R_1 ist so zu wählen, dass sie bei genügender Wirkung auf den Spiegel möglichst kleinen Widerstand habe, damit J und $J_{,}$ hinreichend von einander sich unterscheiden. Rolle R_2 ist mit Rücksicht auf den wesentlichen Widerstand der Kette K_2 so zu wählen, dass sie bei eben gestörtem Gleichgewicht im Messkreise, grösste Wirkung giebt, d. h. nach bekannten Gesetzen muss ihr Widerstand gleich dem Widerstande sämmtlicher im Zustande des Gleichgewichtes zwischen den Enden der Rolle befindlichen Leitungen sein. Ist die Kette K_2 ein Muskel (wie in der Figur) oder ein Nerv, so wird R_2 am besten die Beschaffenheit haben, die man dem Gewinde einer für thierisch-elektrische Ströme bestimmten Bussole giebt.

1) Vergl. Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w. S. 103.

2) E. du Bois-Reymond, Monatsberichte der Berliner Akademie. 1869. S. 807; — 1870. S. 537.

3) Beschreibung einiger Vorrichtungen u. s. w. A. a. O. S. 103.

Am Compensator ist der 1 mm. dicke und etwa 37 . 5 mm. lange Nebenschliessdraht aus Platin um den Umfang einer kreisrunden Scheibe aus Kammmasse gespannt, und bewegt sich bei Drehung der Scheibe am Röllchen r hin, dessen Axe feststeht. Diese von Hrn. Halske ersonnene Einrichtung hat vor der zuerst sich darbietenden, bei der das Röllchen einem gerade ausgespannten Draht entlang sich verschiebt, den Vortheil, dass die Hand, welche die Verschiebung vornimmt, an derselben Stelle und auch der Ort der Ablesung der nämliche bleibt. Anstatt dem Draht entlang suchen zu müssen, wo das Röllchen steht, braucht das Auge nur zwischen Ocular des Fernrohres und Lupe des Compensators hin und her zu gehen.

Nachdem der Compensator solchen festen Stand erhielt, dass dies leicht geschieht, werden zwischen den Klemmschrauben I und II die Maasskette, die Rolle R_1 und der Quecksilberschlüssel angebracht. Die Klemmschrauben III und IV werden zunächst mit der Wippe eines Stromwenders verbunden, jenseit dessen der Schlüssel U_2, die Kette von zu bestimmender Kraft und Rolle R_2 sich befinden. Von I, II, III und IV gehen Leitungen zu entsprechenden Zahlen am Instrumente. III entspricht dem Röllchen r, IV dem Punkte 0, I dem Punkt S oder vielmehr dem noch zu erwähnenden Punkte Σ, endlich II dem Punkt N des Schema's.

Die Scheibe des Compensators trägt eine nicht in Grade, sondern in 1000 Theile (Compensatorgrade, Cgr) getheilte Theilung; der Nullpunkt dieser Theilung soll dem in der Figur mit 0, der tausendste Theilstrich dem dort mit S bezeichneten Punkt entsprechen. Demgemäss geht beim Theilstrich 0 der Platindraht über eine Platinschneide, beim tausendsten Strich tritt er auf eine Kupfermasse von verschwindendem Widerstand, und der Winkelabstand beider Punkte ist möglichst gleich gemacht dem Winkelwerthe der tausend Compensatorgrade.

Es handelt sich aber nun darum, die Stellung des Röllchens zu finden, welche dem Punkte 0 entspricht. Dies geschieht mit grosser Schärfe vermöge des Umstandes, dass man dem Röllchen über die Schneide bei 0 hinaus die in der Figur punktirte Stellung geben kann. Dabei ist die Richtung des

Maasskettenstromzweiges im Messkreise die entgegengesetzte von dem bei der Stellung des Röllchens zwischen 0 und S. Indem man in den Maasskettenkreis eine kräftige Kette einführt, dem Messkreise, in welchem keine elektromotorische Kraft thätig sein darf, möglichst kleinen Widerstand und der Bussole im Messkreise möglichst grosse Empfindlichkeit giebt, kann man sehr genau den Punkt finden, wo der Strom seine Richtung ändert. Man hat vorher die Schraube, welche den festen Zeiger über dem Röllchen fixirt, mittels eines Stellstiftes so weit gelöst, dass der Zeiger mit sanfter Reibung sich verschiebt. Jetzt rückt man ihn seitlich bis der Strich darauf mit dem Nullstrich zusammenfällt, und zieht die Schraube wieder an.

Ist die Aufstellung des Instrumentes so weit gediehen, so kann es schon dazu dienen, das Verhältniss elektromotorischer Kräfte, die in seinem Bereiche liegen, zu bestimmen. Um die Graduationsconstante der Vorrichtung zu finden, ist es nun aber noch nöthig, den Maasskettenkreis abwechselnd mit Ausschluss und mit Einschluss der Strecke des Nebenschliessdrahtes von 0 bis S zu schliessen. Es muss also das in der Figur an S stossende Ende des Maasskettenkreises mit 0 verbunden, oder $K_1 p S$ in der Figur in die Lage $K_1 q 0$ gebracht werden können.

Natürlich liefe es auf dasselbe hinaus, wenn ein Punkt Σ des Maasskettenkreises (s. die Figur) durch eine Leitung von verschwindendem Widerstande ($\Sigma 0$ oder ΣS) abwechselnd mit 0 und S verbunden würde. Dazu dient der am Compensator befindliche drehbare Kupferbügel. Die beiden Enden des Bügels sind an ihrer oberen ebenen Fläche mit Platin bekleidet, und können mittels starker Schrauben den an ihrer unteren ebenen Fläche gleichfalls mit Platin bekleideten Kupfermassen angedrückt werden, von denen die rechts befindliche eine möglichst gute Leitung zum Punkte 0, die andere eine solche zum Punkt S vermittelt.

Indem man den Bügel zuerst nach rechts dreht, welche Stellung in der Figur punktirt ist, erhält man J, indem man ihn dann nach links dreht, $J_{,}$. Beim nachmaligen Gebrauche des Instrumentes, falls man während dessen die Graduations-

constante nicht zu revidiren beabsichtigt, bleibt der Bügel in letzterer Stellung, welche in der Figur ausgezogen ist.

Ist der Nullpunkt des Compensators einmal festgestellt, so bedarf es, um die Graduationsconstante zu kennen, wegen der Proportionalität der elektromotorischen Kräfte mit den Abständen Or, nur noch der Kenntniss des Werthes eines einzigen Punktes der Theilung. Solche Bestimmung erlangt man ohne J und $J_{\prime}$ zu messen, indem man K_2 durch eine Thermokette ersetzt, deren elektromotorische Kraft ein bekannter Bruchtheil der Kraft der Maasskette ist.

Dass in grosser Nähe des Nullpunktes so wie des 1000-Cgr-Punktes die Messungen fehlerhaft werden, weil die Strömung nicht mehr senkrecht auf die Längenausdehnung des Drahtes geschieht, ist bekanntlich gleichfalls ein Fehler, den sämmtliche galvanische Messvorrichtungen mit der beschriebenen theilen.

Excentricität der Scheibe ist gleichgültig, wenn nur Theilung und Draht concentrisch sind. Excentricität des Röllchens bedingt periodische Schwankung des Werthes der Compensatorgrade.
